



西北太平洋北方拟躄乌贼角质颚色素沉积特性分析

陈炫妤¹, 陆化杰^{1,2,3,4,5*}, 何静茹¹, 刘凯¹, 王洪浩¹, 陈新军^{1,2,3,4,5}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306;

5. 上海海洋大学, 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘要: 角质颚是头足类重要的摄食器官, 是研究头足类摄食生态的重要材料。为研究北方拟躄乌贼角质颚色素沉积特性, 根据 2018 年 9—11 月中国鱿钓船在西北太平洋生产调查期间采集的 268 尾北方拟躄乌贼样本, 对其渔业生物学数据进行测定, 对其角质颚色素沉积等级进行划分, 分析色素沉积等级是否存在性别间差异, 并拟合色素沉积等级与胴长、体质量和角质颚外形参数的关系。结果发现, 9—11 月西北太平洋北方拟躄乌贼角质颚色素沉积等级以 6 级和 7 级为主, 占样本总数的 91.11%。色素沉积与胴长、体质量、角质颚外部形态(上头盖长、上脊突长、上喙长、下头盖长、下脊突长和下喙长)的关系均不存在性别间显著性差异, 且均呈正相关, 其决定系数 R^2 分别为 0.9800、0.6715、0.7615、0.9165、0.9188、0.6772、0.8071 和 0.9153。色素沉积等级与性腺成熟度关系也呈正相关, 并随着性腺成熟度等级的增大而增大。研究表明, 北方拟躄乌贼角质颚色素沉积等级与胴长、体质量、性腺成熟度和角质颚形态参数均呈正相关关系, 总体上随着个体的生长而逐步增加。

关键词: 北方拟躄乌贼; 角质颚; 色素沉积; 外部形态参数; 西北太平洋
中图分类号: S 917.4 **文献标志码:** A

北方拟躄乌贼 (*Gonatopsis borealis*) 属头足纲 (Cephalopoda) 枪形目 (Teuthida) 躄乌贼科 (Gonatidae) 北方躄乌贼属^[1], 广泛分布于西北太平洋 37°~55°N 海域, 包括鄂霍次克海、白令海 60°N 以南海域、阿拉斯加湾以南至加利福尼亚 25°N 海域^[2-3]。北方拟躄乌贼为冷水性物种, 主要栖息于海表温度 (sea surface temperature, SST) 低于 14 °C 的环境中, 稚仔鱼大量出现在水温 6~9 °C

的海域^[1,4-5]。北方拟躄乌贼为短生命周期物种, 寿命通常为 1~2 a^[6], 资源丰富, 据评估, 鄂霍次克海潜在资源量为 27.8~50.0 万 t, 白令海西部海域为 20.9 万 t, 勘察加西部海域为 28.5 万 t^[7-8], 具有良好的开发潜力。但目前为止, 针对其渔业生物学、生态学的研究较少^[9]。角质颚是头足类主要的摄食器官, 具有稳定的形态特征、良好的信息储存以及耐腐蚀等特点^[7], 被广泛用于头

收稿日期: 2020-05-17 修回日期: 2020-09-10

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901404, 2019YFD090402); 国家自然科学基金青年基金项目 (4150618)

第一作者: 陈炫妤 (照片), 从事渔业资源研究, E-mail: chenxy19@163.com

通信作者: 陆化杰, E-mail: hjlu@shou.edu.cn



足类种群划分^[10]、日龄鉴定^[11]等研究。色素沉积是角质颚的重要生长变化之一, 能够反映头足类食性的转变, 也影响头足类的摄食行为^[12-13]。国内外学者分别对一些头足类角质颚的色素沉积^[14-15]和西北太平洋北方拟鬚乌贼角质颚外部形态生长特性^[16]进行了研究, 但对北方拟鬚乌贼角质颚色素沉积的研究尚为空白。本实验根据 2018 年 9—11 月我国鱿钓船在西北太平洋生产期间采集的北方拟鬚乌贼样本, 对其角质颚色素沉积特性进行研究, 为后续研究北方拟鬚乌贼的摄食生态、洄游特性等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集

样本采集时间为 2018 年 9—11 月, 采集海域为 41°45′~43°45′N、154°05′~159°43′E(图 1), 调查船为舟山宁泰海洋渔业公司所属的“宁泰 79”专业鱿钓渔船, 船长 44.96 m, 型宽 8.0 m, 型深 3.98 m, 吨位 479 t, 主机功率 882 kW。每个作业日从每个站点的渔获物中随机抽取 10~15 尾样本, 共采集北方拟鬚乌贼 268 尾。

1.2 研究方法

基础生物学和角质颚外形参数测定 实验室中将北方拟鬚乌贼样本解冻, 对胴长(mantle length, ML)、体质量(body weight, BW)进行测

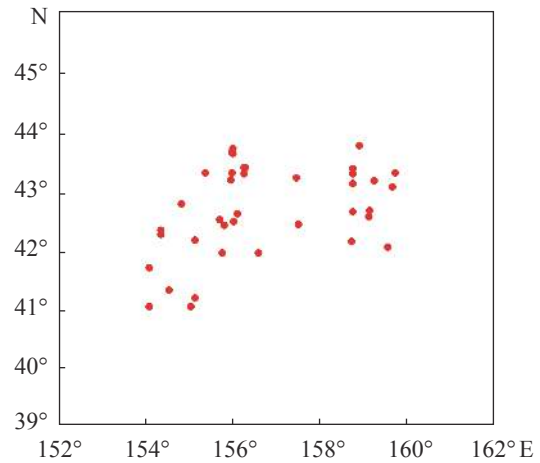


图 1 调查采样示意图

Fig. 1 Site of investigations and sampling

定, 对性别以及性腺成熟度进行鉴定^[17]。将角质颚从北方拟鬚乌贼口器中取出并编号, 并存放于 70% 的乙醇溶液中, 以便清除包裹在角质颚表面的有机物质^[9]。实验共取得、鉴定 238 对有效角质颚样本, 其中雌性 135 对, 雄性 103 对。将角质颚外部清洗干净后, 用游标卡尺(MNT-150T, 德国美耐特)对其外部形态参数进行测量(图 2)。其中, 胴长测定精确至 1 mm, 体质量精确至 1 g, 角质颚外形精确至 0.01 mm。

角质颚色素沉积等级划分 本研究参考 Garcia^[18]对短柔鱼的分级方法, 结合北方拟鬚乌贼角质颚的生长特点, 将角质颚色素沉积划分

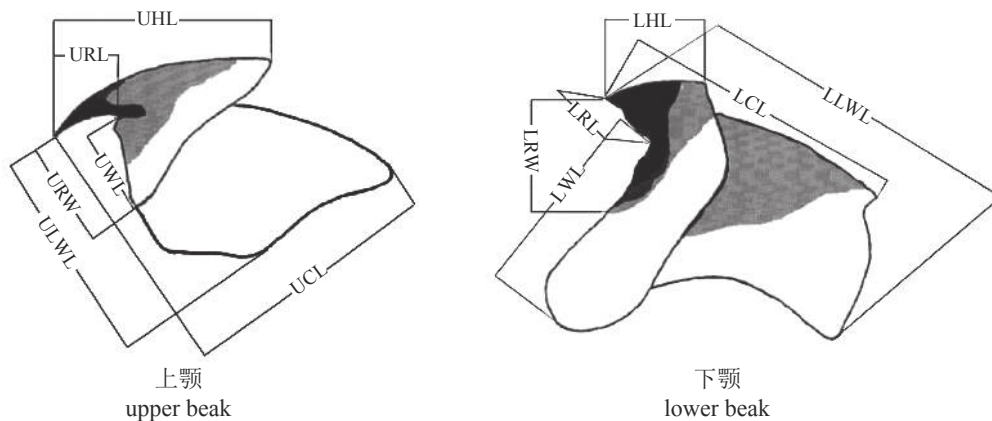


图 2 北方拟鬚乌贼角质颚外形参数测量示意图

UHL. 上头盖长; UCL. 上脊突长; URL. 上喙长; URW. 上喙宽; ULWL. 上侧壁长; UWL. 上翼长; LHL. 下头盖长; LCL. 下脊突长; LRL. 下喙长; LRW. 下喙宽; LLWL. 下侧壁长; LWL. 下翼长

Fig. 2 Scheme of morphometric measurements for *G. borealis* beaks

UHL. upper hood length; UCL. upper crest length; URL. upper rostrum length; URW. upper rostrum width; ULWL. upper lateral wall length; UWL. upper wing length; LHL. lower hood length; LCL. lower crest length; LRL. lower rostrum length; LRW. lower rostrum width; LLWL. lower lateral wall length; LWL. lower wing length

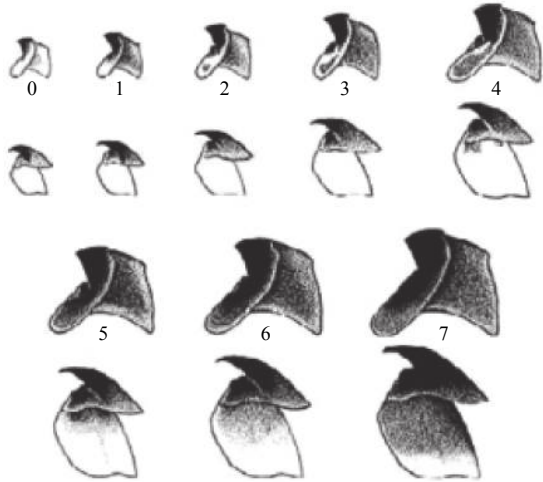


图3 短柔鱼角质颚色素沉积过程

编号(1、2、3、4、5、6和7)上方为下角质颚,下方为上角质颚

Fig. 3 Pigmentation process in beaks for *T. eblanae* (García^[18])

Above the number (1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7) is lower beak, below the number is upper beak

为0~7级,共8个等级(图3)。

1.3 数据处理

色素沉积等级的频度分析 按月份对北方拟贻乌贼的角质颚进行色素沉积等级频度分析,研究不同月份样本的色素沉积变化和组成^[14]。

色素沉积与胴长、体质量的关系 运用协方差分析判别色素沉积等级与胴长、体质量的关系间是否存在性别间显著性差异,并根据结果研究色素沉积等级与不同样本的胴长、体质量的关系^[14-15]。采用EXCEL 2010绘制箱型图,拟合角质颚色素沉积等级与胴长、体质量的线性关系^[14]。

色素沉积与性成熟度的关系 利用协方差分析判别色素沉积等级与性成熟度的关系间是否存在性别间显著性差异,鉴于北方拟贻乌贼为短生命周期物种,寿命通常为1~2 a^[6],因此其性成熟等级实际上就意味着其个体的生长^[14, 18]。

色素沉积与角质颚外部形态的关系 选取北方拟贻乌贼UHL、LHL、UCL、LCL、URL和LRL等6项形态参数来描述其与色素沉积等级的关系^[16]。采用EXCEL 2010分别绘制角质颚外部形态参数与色素沉积等级的箱型图,拟合并探讨角质颚外部形态与色素沉积等级的关系^[14]。

数据处理使用EXCEL 2010和SPSS 23。

2 结果

2.1 胴长与体质量组成

经测量样本的胴长范围为220~310 mm,体质量范围为327~853 g,平均胴长和体质量分别为(263.64±21.16) mm和(551.16±123.73) g。

2.2 色素沉积等级频度分析

9—11月北方拟贻乌贼角质颚色素沉积等级以6级和7级为主,所占比例最高且比例相同,都为45.56%;其次为5级和4级,所占比例分别为5.00%和3.89%。未见色素沉积等级为0级、1级、2级和3级的样本(图4)。

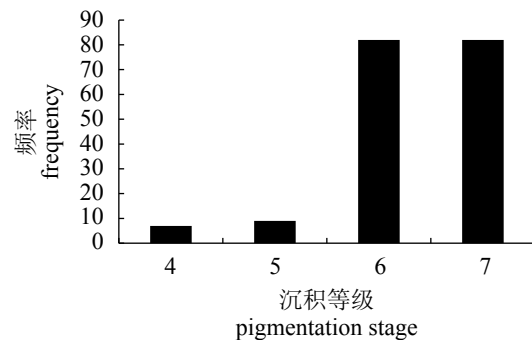


图4 北方拟贻乌贼角质颚色素沉积等级频度分析

Fig. 4 Frequency distribution of different beak pigmentation stages for *G. borealis*

2.3 色素沉积等级与胴长、体质量的关系

协方差分析表明,角质颚色素沉积等级与胴长($F=0.111$, $P=0.740$)、体质量($F=0.096$, $P=0.757$)的关系均不存在性别间显著性差异,因此不分性别研究角质颚色素沉积等级与胴长和体质量的关系。通过相关性分析,北方拟贻乌贼角质颚色素沉积等级与胴长($F=10.868$, $P=0.00<0.01$)、体质量($F=13.109$, $P=0.00<0.01$)均呈极显著性相关。单因素ANOVA检验表明,虽然色素沉积等级与胴长、体质量均具有一定的线性关系,但其组内个体差异更为突出,且置信区间重叠度较大(表1和表2),不宜用一般的线性方程简单描述,更宜选用箱型图加以直观表示(图5)。经计算色素沉积等级为4级、5级、6级和7级的个体,其胴长中位值分别为261、262、264和265 mm;其体质量中位值分别为523、505、529.5和542.5 g。色素沉积等级为4级、5级、6级和7级的个体,其胴长四分位间距范围分别

表 1 不同色素沉积等级间的胴长差异

Tab. 1 Differences of mantle length among different pigmentation stages

沉积等级 pigmentation stage	个案数 <i>n</i>	平均值 mean	平均值的95%置信区间		最小值 minimum	最大值 maximum
			95% confidence interval for mean			
			下限 lower bound	上限 upper bound		
4	7	258.43	241.75	275.11	235	285
5	9	260.33	247.39	273.28	241	291
6	82	262.39	257.47	267.32	220	309
7	82	265.70	261.17	270.23	227	310

表 2 不同色素沉积等级间的体质量差异

Tab. 2 Differences of body weight among different pigmentation stages

沉积等级 pigmentation stage	个案数 <i>n</i>	平均值 mean	平均值的95%置信区间		最小值 minimum	最大值 maximum
			95% confidence interval for mean			
			下限 lower bound	上限 upper bound		
4	7	498.17	406.80	590.63	378	659
5	9	498.11	428.81	567.41	362	608
6	82	551.59	523.79	579.38	327	835
7	82	560.89	533.40	588.38	339	853

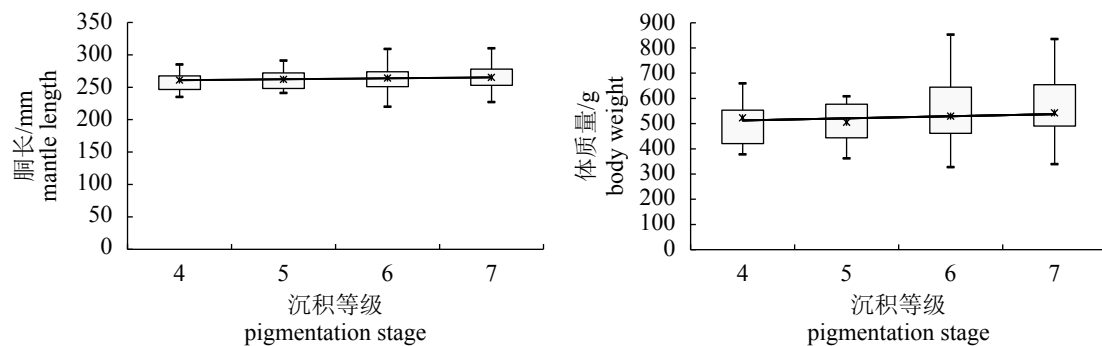


图 5 北方拟髯乌贼角质颞色素沉积等级与胴长和体质量的关系

Fig. 5 Relationships between beak pigmentation stage and mantle length and body weight for *G. borealis*

为 246.5~267.5 mm、248~272 mm、251~273.75 mm 和 253~278 mm; 体质量四分位间距范围分别为 420.50~553.00 g、444.00~577.00 g、461.25~644.25 和 490.25~654.25 g。

经拟合、分析, 色素沉积等级与胴长、体质量中位值的关系式如下:

$$ML=1.4x+259.5 \quad (R^2=0.9800, n=238)$$

$$BW=8.3x+504.25 \quad (R^2=0.6715, n=238)$$

式中, x 为色素沉积等级。

2.4 色素沉积等级与性腺成熟度的关系

协方差分析表明, 色素沉积等级与性腺成

熟度的关系也不存在性别间显著性差异 ($F=1.562$, $P=0.213$), 因此不分性别研究沉积等级与性腺成熟度的关系。结果表明, 性腺成熟度为 I 期的个体, 其角质颞色素沉积等级为 4 级和 5 级, 所占比例均为 50.00%; 性腺成熟度为 II 期的个体, 其角质颞色素沉积等级以 6~7 级所占比例最高, 共占全部样本的 92.94%; 性腺成熟度为 III 期的个体, 其角质颞色素沉积等级也以 6~7 级所占比例最高, 共占 91.30%; 性腺成熟度为 IV 期的个体, 其角质颞色素沉积等级为 6 级, 所占比例为 100.00% (表 3)。

表 3 北方拟鱧乌贼角质色素沉积等级所占比例与性腺成熟度的关系

Tab. 3 Relationship between percentage of pigmentation stages and sexual maturity stage for *G. borealis*

性腺成熟度等级 sexual maturity stage	不同色素沉积等级个体所占比例/% percentage of different pigmentation stages						
	1	2	3	4	5	6	7
I	0.00	0.00	0.00	50.00	50.00	0.00	00.00
II	0.00	0.00	0.00	2.35	4.71	47.06	45.88
III	0.00	0.00	0.00	4.35	4.35	44.57	46.74
IV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	00.00

2.5 色素沉积等级与角质颚形态的关系

选取 UHL、LHL、UCL、LCL、URL 和 LRL 共 6 项形态参数^[16]描述色素沉积等级与角质颚外部形态特征的关系。协方差分析表明，色素沉积等级与北方拟鱧乌贼上角质颚 ($F=0.141, P=$

0.869)、下角质颚 ($F=0.190, P=0.827$) 的生长关系均不存在性别间显著性差异，因此不分性别进行研究。结果表明，色素沉积等级与北方拟鱧乌贼角质颚外部形态参数中位值的关系均为线性关系，且决定系数 R^2 均大于 0.6772 (图 6)。

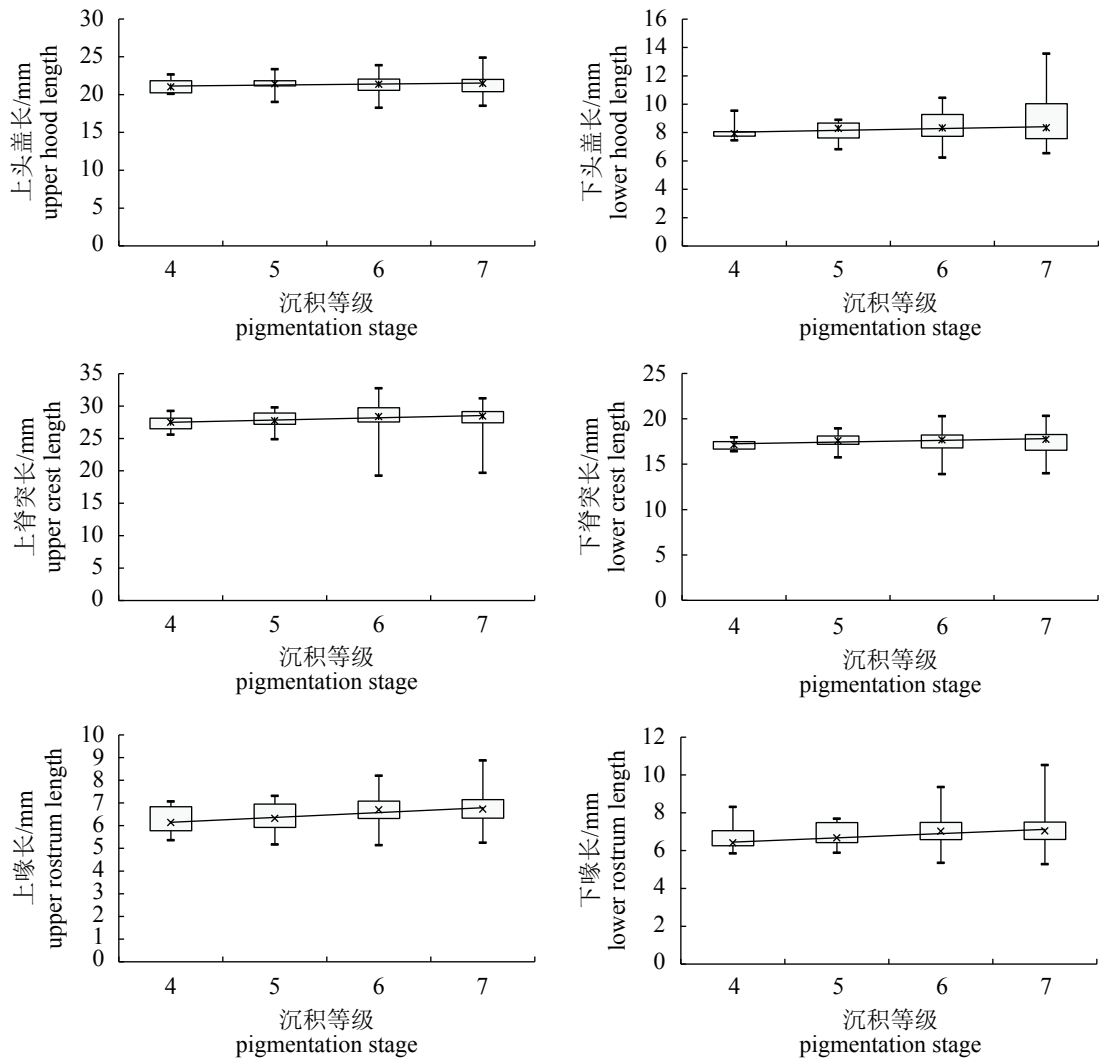


图 6 北方拟鱧乌贼角质色素沉积等级与角质颚外部形态的关系

Fig. 6 Relation between beak pigmentation stages and external morphological parameters for *G. borealis*

色素沉积等级与角质颚形态参数中位值的关系式如下:

$$UHL=0.1405x+20.973(R^2=0.7615)$$

$$UCL=0.3835x+27.045(R^2=0.9165)$$

$$URL=0.2145x+5.9325(R^2=0.9188)$$

$$LHL=0.129x+7.895(R^2=0.6772)$$

$$LCL=0.1925x+17.048(R^2=0.8071)$$

$$LRL=0.226x+6.2225(R^2=0.9153)$$

式中, x 为色素沉积等级。

3 讨论

3.1 色素沉积等级频度分析

研究表明, 随着个体生长, 北方拟鬚乌贼角质色素沉积等级也随之增加, 这与其他头足类的研究结果相似^[14-15]。本研究显示, 色素沉积等级为6级和7级的个体占样本总数的91.11%, 这说明在9—11月北方拟鬚乌贼角质色素沉积等级已趋于最大等级, 这可能和样本组成有关, 本实验样本采集时间为9—11月, 且性成熟明显, 这陈新军等^[19]的研究结果相同。总体而言, 性成熟度越高的个体, 角质色素沉积等级也随之越大, 这与陆化杰等^[15]的研究结果相似。

3.2 色素沉积等级与胴长、体质量的关系

研究表明, 西北太平洋北方拟鬚乌贼角质色素沉积等级与胴长、体质量的关系不存在性别间显著性差异。由方差分析和箱型图分析可知, 不同色素沉积等级对应的胴长、体质量的范围均存在不同程度的重叠, 其中色素沉积等级6级和7级的样本与其他色素沉积等级样本的重叠程度最大, 这可能是由于个体之间存在摄食量和生长速率的区别, 部分个体生长发育缓慢, 从而导致色素沉积等级6级和7级的样本中胴长、体质量的最大值和最小值区间较大, 秘鲁外海茎柔鱼^[20]、西北印度洋鸢乌贼^[14]、阿根廷滑柔鱼^[21]和中国南海西沙群岛鸢乌贼^[15]等的研究中也出现类似结果, 但整体表明, 色素沉积等级与胴长中位值呈较大的正相关关系, 即随着色素沉积等级增加, 胴长中位值也随之增加, 这与短柔鱼^[18]、科氏滑柔鱼^[12]和褶柔鱼^[22]的研究结果相似; 色素沉积等级与体质量中位值也呈正相关关系, 但决定系数 R^2 偏小, 仅为0.4715, 等级关系不明显, 在秘鲁外海茎柔鱼^[20]、

阿根廷滑柔鱼^[21]和中国南海西沙群岛鸢乌贼^[15]的研究中也得出类似结论。

3.3 色素沉积等级与性腺成熟度的关系

研究表明, 西北太平洋北方拟鬚乌贼性腺成熟度与色素沉积等级总体上呈正相关关系, 即随着性腺成熟度的增加, 角质色素沉积等级也随之增加, 秘鲁外海茎柔鱼^[20]、西北印度洋鸢乌贼^[14]、阿根廷滑柔鱼^[21]、中国南海西沙群岛鸢乌贼^[15]和褶柔鱼^[22]的性腺成熟度与角质色素沉积等级也均呈现正相关关系。角质色素沉积与个体的生长关系明显^[23], 这是由于个体的性腺发育需要更多的能量来维持, 这就要求北方拟鬚乌贼要有更坚硬的角质颚来捕食体型更大的鱼、虾、蟹类作为饵料, 而捕食行为的变化直接影响角质颚的色素沉积^[20, 24]。

3.4 色素沉积等级与角质颚形态的关系

研究表明, 西北太平洋北方拟鬚乌贼角质色素沉积等级与形态参数的关系虽然存在不同程度的重叠, 但整体上呈正相关关系, 以往^[14-15, 18, 20-21]研究也得出相似结论。其中头盖长(HL)与色素沉积等级的决定系数较小, LHL的决定系数 R^2 为0.6772, 与秘鲁外海茎柔鱼^[20]、阿根廷滑柔鱼^[21]和中国南海西沙群岛鸢乌贼^[15]的研究结果不完全相同。角质色素沉积是个体摄食行为变化的结果^[18, 25], 不同的色素沉积速度导致角质颚各部位的硬度存在差异^[12], 角质色素沉积使角质颚在保持灵活度的情况下更加坚硬^[18, 26], 捕食更大、更坚硬的猎物需要强有力的角质颚, 因此, 生活在不同海域且捕食猎物不同的头足类, 其角质颚各部色素沉积等级也存在差异。

参考文献 (References):

- [1] 王尧耕, 陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业 [M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 190-194.
Wang Y G, Chen X J. The resource and biology of economic oceanic squid in the world[M]. Beijing: Ocean Press, 2005: 190-194 (in Chinese).
- [2] Roper C F E, Sweeney M J, Nauen C E. Cephalopods of the world: an annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries[M]//FAO Fisheries Synopsis No. 125. Rome: FAO, 1984, 125(3): 277.

- [3] Okutani T. Evidence of spawning of *Berryteuthis magister* in the northeastern Pacific (Cephalopoda: Gonatidae)[J]. Bulletin of the Ocean Research Institute, 1988, 26(1): 193-200.
- [4] Kubodera T, Percy W G, Murakami K, *et al.* Distribution and abundance of squids caught in surface gillnets in the subarctic Pacific, 1977-1981[J]. Memoirs of the Faculty of Fisheries Hokkaido University, 1983, 30(1-2): 1-49.
- [5] Yatsu A, Shimada H, Murata M. Distributions of epipelagic fishes, squids, marine mammals, seabirds and sea turtles in the central north Pacific[J]. International North Pacific Fisheries Commission Bulletin, 1993, 53: 111-146.
- [6] Kubodera T. Relationships between abundance of epipelagic squids and oceanographical-biological environments in the surface waters of the Subarctic Pacific in summer[J]. International North Pacific Fisheries Commission Bulletin, 1986, 47: 215-228.
- [7] Kubodera T, Jefferts K. Distribution and abundance of the early life stages of squid, primarily Gonatidae (Cephalopoda, Oegopsida), in the northern North Pacific (Part 2)[J]. Bulletin of the National Museum of Nature and Science: Series A, Zoology, 1984, 10(4): 165-193.
- [8] Rodrigues A S L, Pilgrim J D, Lamoreux J L, *et al.* The value of the IUCN red list for conservation[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2006, 21(2): 71-76.
- [9] 任品, 陆化杰, 唐悦, 等. 西北太平洋北方拟贻乌贼耳石外部形态特性分析[J]. 水产学报, 2020, 44(1): 49-60.
- Ren P, Lu H J, Tang Y, *et al.* Statolith morphology of *Gonatopsis borealis* in the northwest Pacific ocean[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(1): 49-60(in Chinese).
- [10] Chen X J, Lu H J, Li B L, *et al.* Species identification of *Ommastrephes bartramii*, *Dosidicus gigas*, *Sthenoteuthis oualaniensis* and *Illex argentinus* (Ommastrephidae) using beak morphological variables[J]. *Scientia Marina*, 2012, 76(3): 473-481.
- [11] Castanhari G, Tomás A R G. Beak increment counts as a tool for growth studies of the common octopus *Octopus vulgaris* in southern Brazil[J]. Boletim do Instituto de Pesca, 2012, 38(4): 323-331.
- [12] 陈新军, 韩保平, 刘必林, 等. 世界头足类资源及其渔业[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 65-68.
- Chen X J, Han B P, Liu B L, *et al.* World Cephalopod resources and fisheries[M]. Beijing: Ocean Press, 2013: 65-68 (in Chinese).
- [13] Castro J J, Hernández-García V. Ontogenetic changes in mouth structures, foraging behaviour and habitat use of *Scomber japonicus* and *Illex coindetii*[J]. *Scientia Marina*, 1995, 59(3-4): 347-355.
- [14] 陈炫妤, 陆化杰, 王洪浩, 等. 西北印度洋鳶乌贼角质颚色素沉积特性分析[J]. 动物学杂志, 2020, 55(4): 468-476.
- Chen X Y, Lu H J, Wang H H, *et al.* Analysis of pigmentation character on beak for *Sthenoteuthis oualaniensis* in Northwest Indian Ocean[J]. Chinese Journal of Zoology, 2020, 55(4): 468-476(in Chinese).
- [15] 陆化杰, 陈子越, 宁欣, 等. 中国南海西沙群岛海域鳶乌贼角质颚色素沉积变化[J]. 生态学杂志, 2020, 39(5): 1600-1608.
- Lu H J, Chen Z Y, Ning X, *et al.* Pigmentation change on beak for *Sthenoteuthis oualaniensis* in the Xisha Islands waters of the South China Sea[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(5): 1600-1608(in Chinese).
- [16] 宁欣, 陆化杰, 张旭, 等. 西北太平洋北方拟贻乌贼角质颚外部形态生长特性[J]. 应用生态学报, 2019, 30(12): 4259-4266.
- Ning X, Lu H J, Zhang X, *et al.* Beak morphological growth characteristic of *Gonatopsis borealis* in the Northwestern Pacific Ocean[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(12): 4259-4266(in Chinese).
- [17] Lipiński M R, Underhill L G. Sexual maturation in squid: quantum or continuum?[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1995, 15(1): 207-223.
- [18] García V H. Growth and pigmentation process of the beaks of *Todaropsis eblanae* (Cephalopoda: Ommastrephidae)[J]. *Berliner Paläobiologische Abhandlungen*, 2003, 3: 131-140.
- [19] 陈新军, 刘必林, 王尧耕. 世界头足类[M]. 北京: 海洋出版社, 2019, 230-255.
- Chen X J, Liu B L, Wang Y G. Cephalopods of the world[M]. Beijing: Ocean Press, 2019: 230-255 (in Chinese).
- [20] 胡贯宇, 陈新军, 方舟. 秘鲁外海茎柔鱼角质颚色素沉积及影响因素的初步研究[J]. 海洋湖沼通报, 2017(2): 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- 72-80.
- Hu G Y, Chen X J, Fang Z. A preliminary study on beak pigmentation and its associating affecters of *Dosidicus gigas* inhabiting peruvian exclusive economic zone[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2017(2): 72-80(in Chinese).
- [21] 方舟, 陈新军, 李建华. 西南大西洋公海阿根廷滑柔鱼角质颚色素变化分析[J]. [水产学报](#), 2013, 37(2): 222-229.
- Fang Z, Chen X J, Li J H. Analysis of pigmentation change on beak for *Illex argentinus* in the high seas of southwestern Atlantic Ocean[J]. [Journal of Fisheries of China](#), 2013, 37(2): 222-229(in Chinese).
- [22] Hernández-García V, Piatkowski U, Clarke M R. Development of the darkening of *Todarodes sagittatus* beaks and its relation to growth and reproduction[J]. [South African Journal of Marine Science](#), 1998, 20(1): 363-373.
- [23] Ivanovic M L, Brunetti N E. Description of *Illex argentinus* beaks and rostral length relationships with size and weight of squids[J]. [Revista de Investigación Y Desarrollo Pesquero](#), 1997, 11: 135-144.
- [24] 方舟, 陈新军, 瞿俊跃, 等. 北太平洋柔鱼角质颚形态及生长年间差异[J]. [上海海洋大学学报](#), 2020, 29(1): 109-120.
- Fang Z, Chen X J, Qu J Y, *et al.* Annual variation of beak morphology and growth models for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in north Pacific Ocean[J]. [Journal of Shanghai Ocean University](#), 2020, 29(1): 109-120(in Chinese).
- [25] Miserez A, Schneberk T, Sun C J, *et al.* The transition from stiff to compliant materials in squid beaks[J]. [Science](#), 2008, 319(5871): 1816-1819.
- [26] Uyeno T A, Kier W M. Functional morphology of the cephalopod buccal mass: a novel joint type[J]. [Journal of Morphology](#), 2005, 264(2): 211-222.

Analysis of pigmentation characteristics on beak for *Gonatopsis borealis* in the Northwest Pacific Ocean

CHEN Xuanyu¹, LU Huajie^{1,2,3,4,5*}, HE Jingru¹, LIU Kai¹, WANG Honghao¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,5}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: *Gonatopsis borealis* is a cold water cephalopod species which is extensively distributed in the northwest Pacific Ocean between 37°-55°N, and is rich in resources with a good development potentiality. The beak is an important feeding organ of cephalopods, pigmentation is one of the important changes in the growth of the beak, and its pigmentation characteristic is an important material to study the feeding ecology of cephalopods. In this paper, the characteristics of pigmentation stages in the beak were studied, which would provide the basis for the study of fishery ecology of *G. borealis*. We measured and identified the samples by basic fishery biology data including mantle length (ML), body weight (BW), sex and sexual maturity, divided the pigmentation stages based on Hernández-García's method, researched whether there were gender differences in pigmentation stages, and established the growth models between the beak pigmentation and ML, BW, sexual maturity and the external morphological parameters of 268 beaks of *G. borealis* collected in the Northwest Pacific Ocean from September to November of 2018 by Chinese jigging fishing fleets. The results showed that the stage 6 and 7 were the dominant pigmentation stages accounting for 91.11% of the total samples. There was no significant sexual difference in the relationships between beak pigmentation stages and ML, BW and morphological parameters including Upper hood length (UHL), Upper crest length (UCL), Upper rostrum length (URL), Lower hood length (LHL), Lower crest length (LCL) and Lower rostrum length (LRL) of beaks based on analysis of covariance (ANCOVA). The correlation analysis indicated that the pigmentation degrees of beak were highly significantly correlated with ML and BW. The beak pigmentation degrees had a positive relationship with ML, BW and morphological parameters of beaks, and the coefficient of association were 0.9800, 0.6715, 0.7615, 0.9165, 0.9188, 0.6772, 0.8071 and 0.9153, and there was also a positive relationship with sexual maturity. The pigmentation degrees of beak of *G. borealis* had a positive relationship with ML, BW, sexual maturity and morphological parameters of beaks, and increased with the growth of individuals and seemed to reach the maximum from September to November.

Key words: *Gonatopsis borealis*; beak; pigmentation stage; morphological parameters; northwest Pacific Ocean

Corresponding author: LU Huajie. E-mail: hjlu@shou.edu.cn

Funding projects: National Key R&D Program of China (2019YFD0901404, 2019YFD090402); National Natural Science Foundation of China (NSFC41506184).